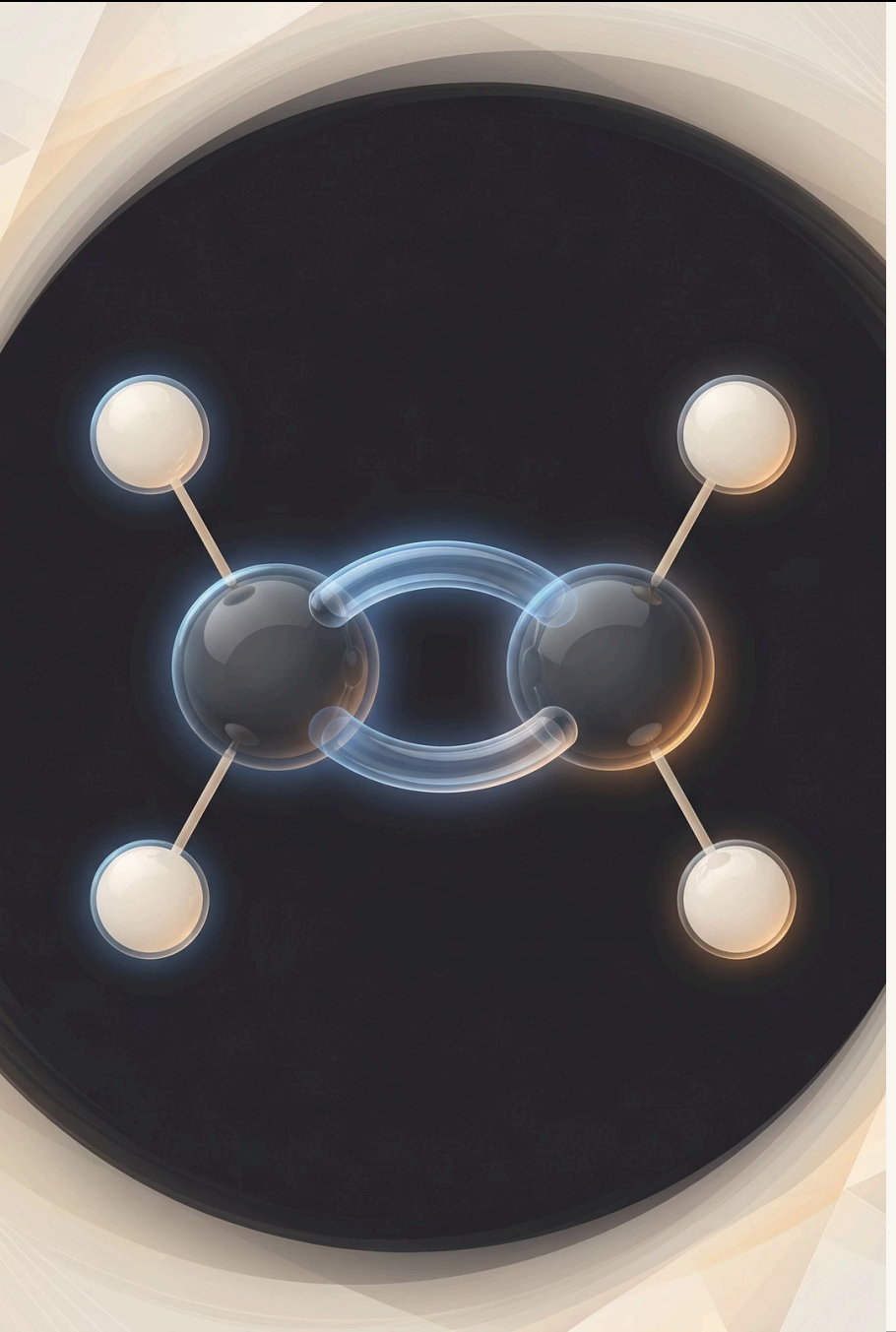


Hidroborasyon-Oksidasyon Reaksiyonu

Ders Sunumu

TERADİGMA

Alkenler: Kimyasal Reaksiyonların Giriş Kapıları

Karbon atomları arasındaki çift bağlar (alkenler), kimyasal reaksiyonlar için birer açık kapı gibidir.

Kurallı Katılım

Bu kapıdan giren atomlar belirli kurallara tabidir

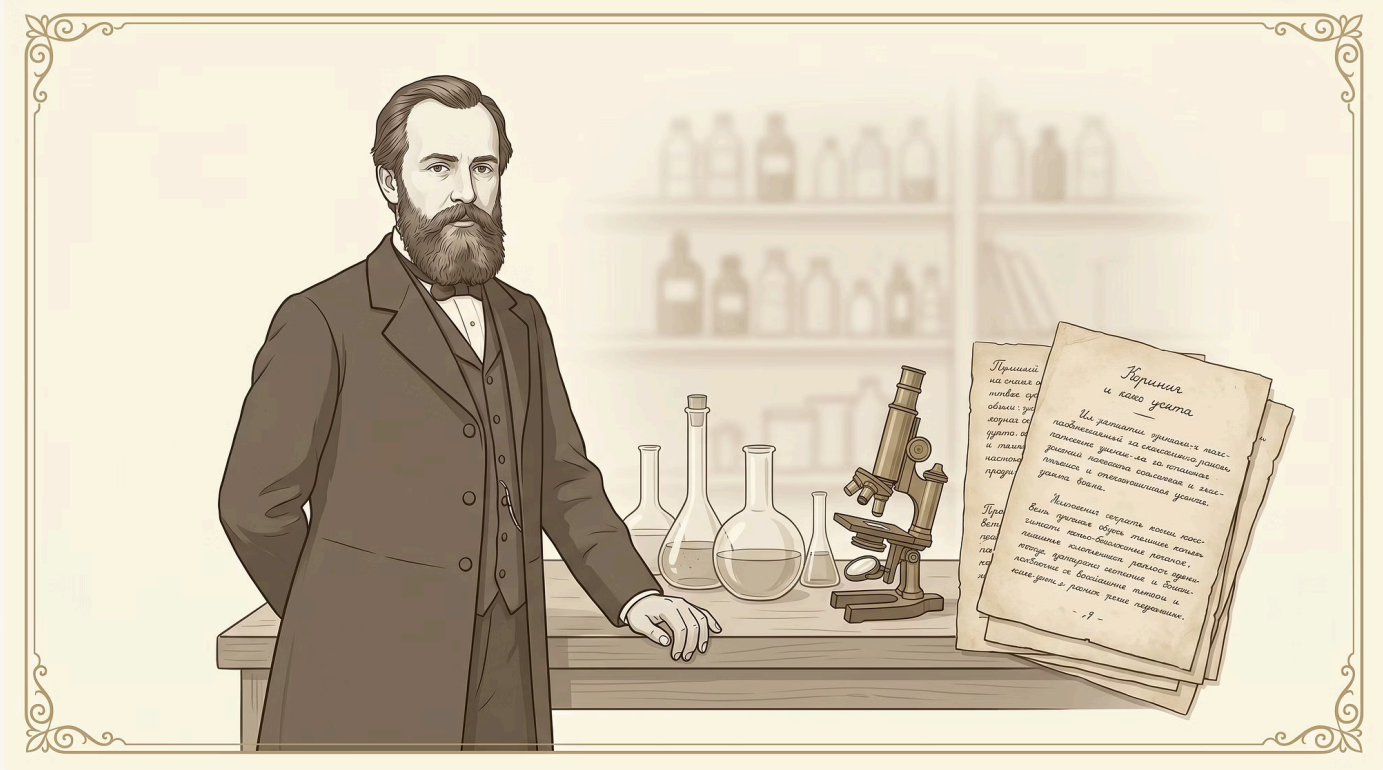
Hayati Önemi

Suyun alkenlere katılması, canlılık için gerekli moleküllerin inşasında kullanılır

En Düzenli Yöntem

Hidroborasyon-oksidasyon, bu katılma yöntemlerinin en düzenli olanıdır

> Dışarıdan basit bir değişim gibi görünen bu süreç, atomik seviyede muazzam bir disiplinle işleyen kusursuz bir mekanizmadır.



Markovnikov Kuralı: Tarihteki İlk Gözlem

19. yüzyılda Rus kimyager Vladimir Markovnikov, doğadaki genel eğilimi gözlemledi.

Temel Gözlem

Hidrojen, genellikle zaten hidrojeni bol olan karbona bağlanır

Zengin Daha Zengin Olur

"Zengin daha zengin olur" mantığıyla işleyen bu kural, uzun yıllar tek geçerli yol sayıldı

Devrim: H.C. Brown

1950'lerin sonunda H.C. Brown'un çalışmaları bu tabloya meydan okudu

Anti-Markovnikov Seçiciliği Nedir?

H.C. Brown'un keşfiyle bor elementi sahneye çıktı ve yeni bir düzen gün yüzüne çıkarıldı.

Ters Düzen

Hidrojen ve oksijen atomları, alışıla gelmişin **tam tersi** bir düzende moleküle yerleştirilir

Anti-Markovnikov

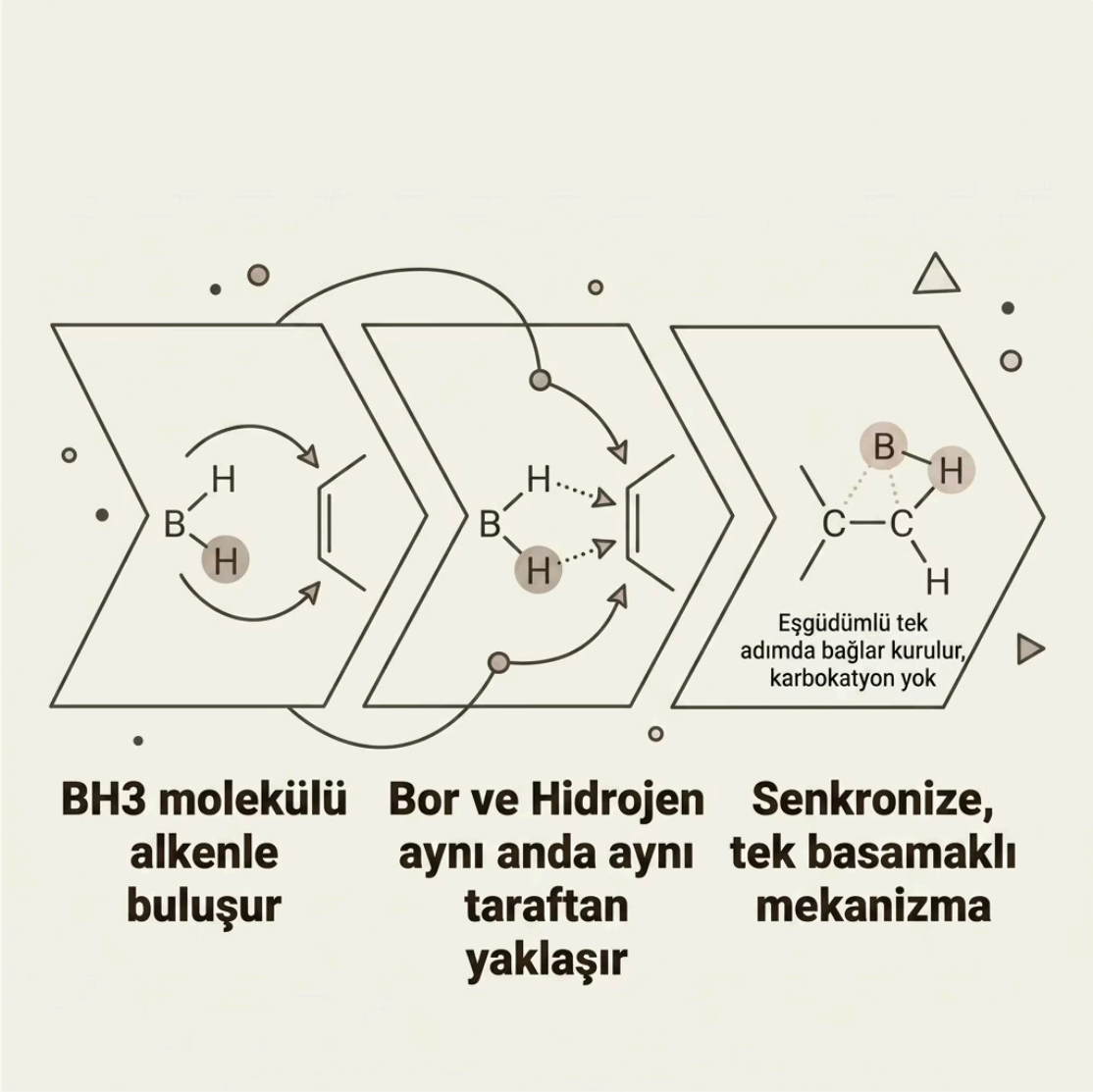
Bu düzene Anti-Markovnikov seçiciliği denir

Görünmez Düzen

Tesadüfe yer bırakmayan bu hassas yerleşim, maddeye hükmeden görünmez bir düzenin en parlak delilidir

> **Neden** atomlar her seferinde aynı tercihi yapıyor? Gözü ve beyni olmayan bir atom, doğru köşeyi nasıl buluyor?

Eşgüdümlü Mekanizma: Aynı Anda, Aynı Taraftan



Boran (BH_3) molekülü alkenle buluştuğunda gerçekleşen olay, adım adım değil, "konsert" yani eşgüdümlü bir mekanizmadır. Tıpkı senkronize yüzme takımının aynı anda suya dalması gibi, bağların kopması ve kurulması tek bir hamlede tamamlanır.

Syn-Katılma

Bor ve hidrojen atomları çift bağa **aynı anda** ve **aynı taraftan** yaklaşır

Karbokatyon Yok

Arada kararsız, başıboş bir yapının (karbokatyon) oluşmasına izin verilmez

Elektronegatiflik: 0.16'lık Minik Farkın Devasa Sonucu

Reaksiyonun kalbinde, bor ile hidrojen arasındaki çok ince bir ayar gizlidir.

2.04

Bor Elektronegatifliği

Elektron yoğunluğu hidrojene doğru kayar

2.20

Hidrojen Elektronegatifliği

Hidrojen, negatif yüklü "hidrür" (H^-) gibi davranmaya başlar

0.16

Kritik Fark

Bu küçük fark, tüm seçiciliğin temelini oluşturur

Bu hassas mizan; bor atomunun özel taşıyıcı, hidrojenin ise özel yolcu olarak görevlendirilmesini sağlar. Bu değerler rastgele atılmış olsaydı reaksiyon sıradanlaşır, bugün kullandığımız pek çok ilacı üretmek imkânsız hale gelirdi.

Sterik Engel: Kalabalıktan Kaçan Bor Atomu

Bor atomu neden molekülün kalabalık tarafına değil, tenha ucuna yönelir?

Sterik Engel

Buna bilimsel dilde **sterik engel** denir

Borun Yönelimi

İri cüsseli bir yolcunun boş alana yönelmesi gibi, bor da en az engelli karbona yönlendirilir

Fiziksel Zorunluluk

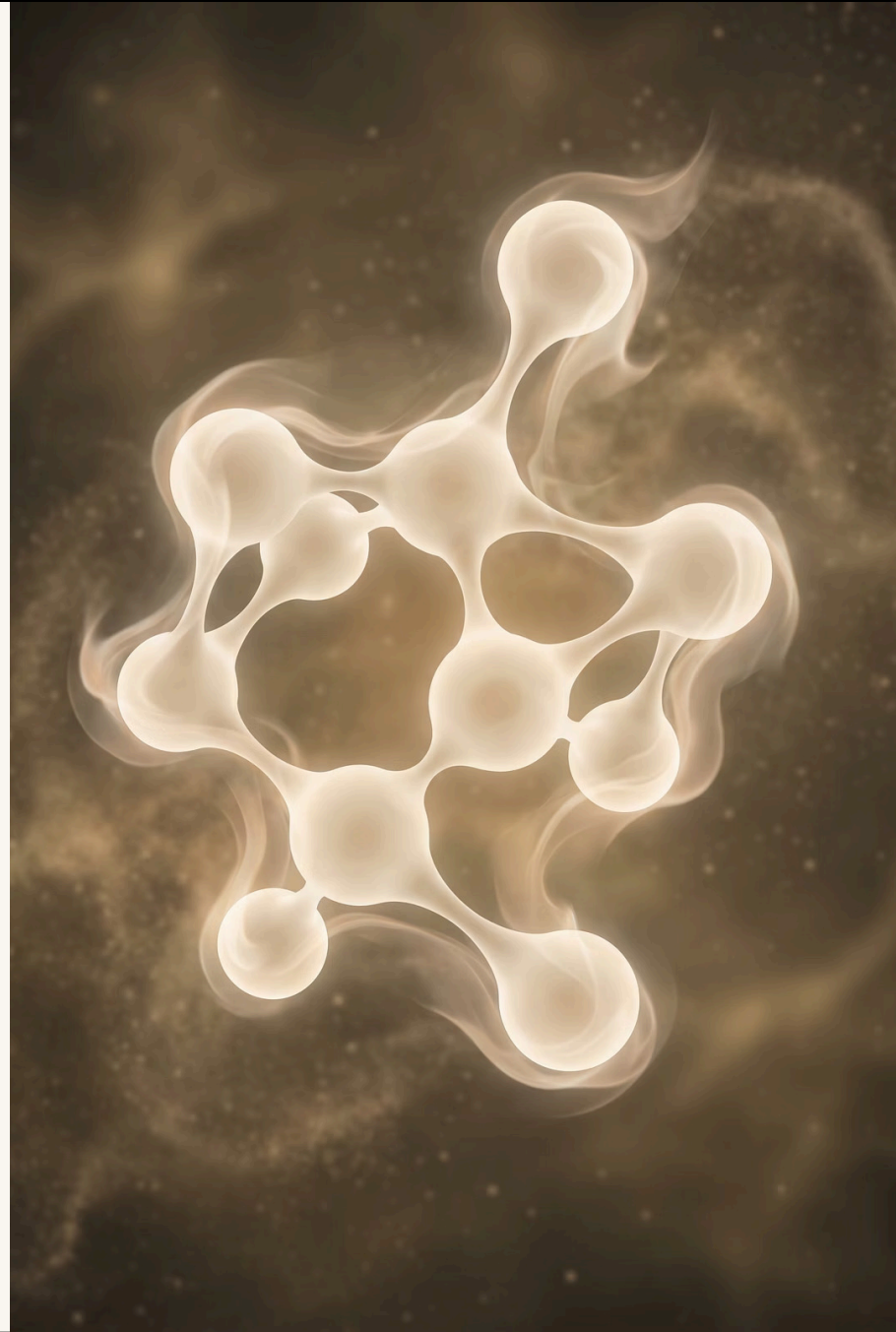
Bor atomunun bu davranışı kendi kararı değildir — molekülün geometrisi ve atomların hacimleri öyle ayarlanmıştır ki, bu yönelim fiziksel bir zorunlulukla gerçekleşir

Oksidasyon: Moleküler Hafızanın Korunması

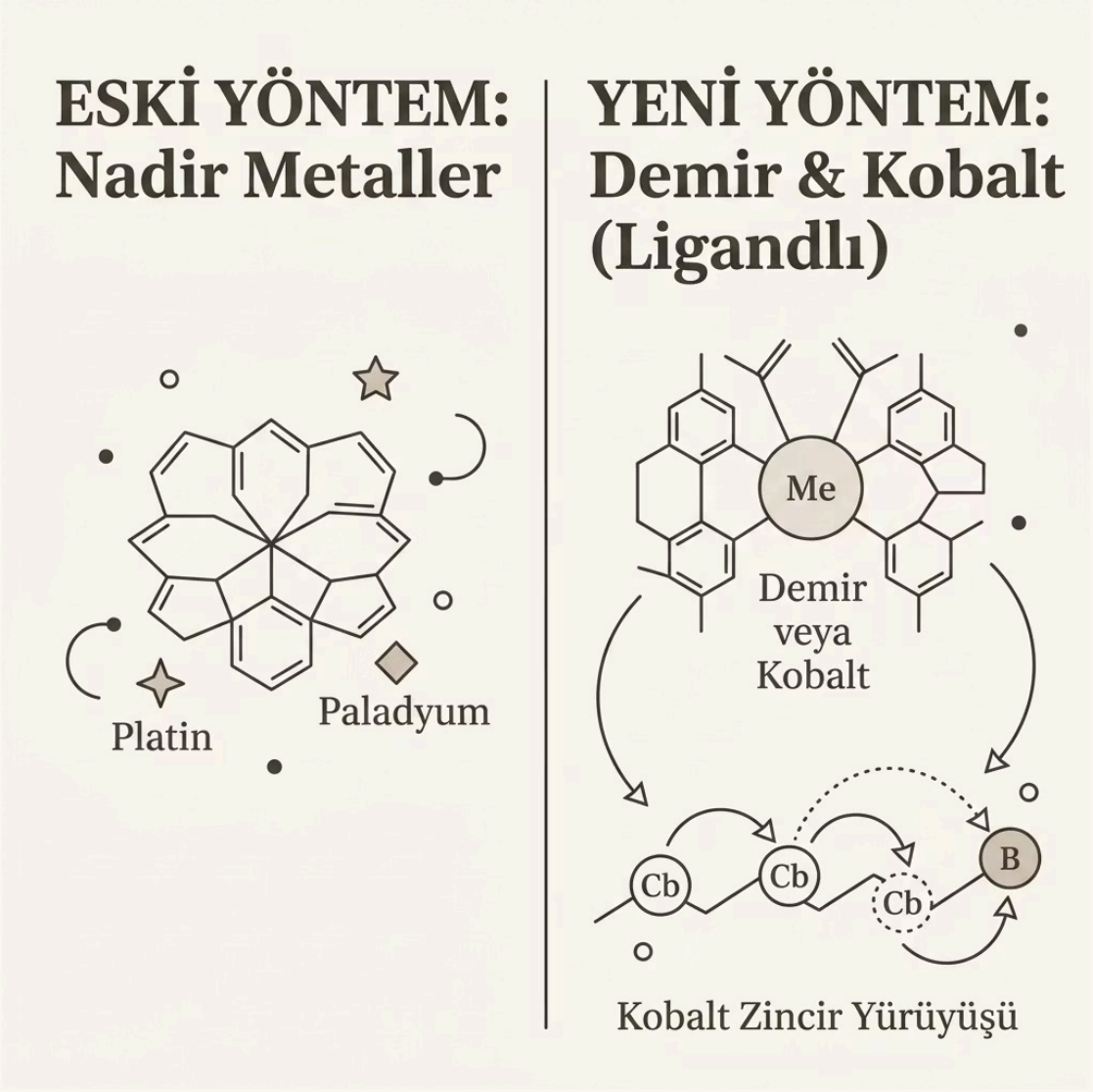
Hidroborasyon aşamasından sonra bor atomunun görevi oksijene devredilir.

1. **Hidroborasyon**
   Bor atomu çift bağa syn-katılmayla yerleşir
2. **Oksidasyon**
   Bazik ortamda H_2O_2 ile bor oksijene devredilir
3. **Sadakat**
   Oksijen, tam olarak borun konumuna ve aynı açıyla yerleşir
4. **Stereokimya Korunur**
   Molekülün uzaydaki duruşu asla bozulmaz

> Molekülün şeklindeki en ufak bir sapma, üretilen maddenin şifa değil zehir olmasına neden olabilir. Bu yüzden bu hafızanın korunması biyolojik sistemler için hayati öneme sahiptir.



Demir ve Kobalt: Mütevazı Elementlerin Büyük Görevi



Son yıllarda bilim insanları bu reaksiyonu daha verimli kılmak için doğada bol bulunan metalleri kullanmaya başladı.

Yeni Katalizörler

Pahalı ve nadir metaller yerine demir ve kobalt, doğru yardımcılar (ligandlar) ile donatıldığında usta birer katalizör gibi çalıştırılabilmektedir

Zincir Yürüyüşü

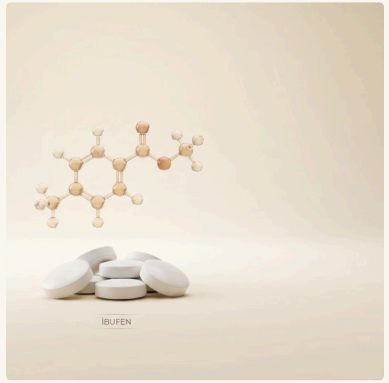
Kobalt katalizörlerinde "Chain Walking" gözlemlenir — kobalt atomu karbon zinciri boyunca atom atom ilerleyerek molekülün en ucunu bulur

Gizli Potansiyel

Pasın ana maddesi demir ya da pillerde kullanılan kobaltın bu denli hassas işlev görmesi, bu elementlere yerleştirilen potansiyel kabiliyetlerin ne denli yüksek olduğunu gösterir

Şifa Vesilesi: Anti-Markovnikov Ürünlerinin Önemi

Tıpta "şekil" her şeydir — bir ilacın işe yaraması için hedef hücredeki kilide tam uyması gerekir.



İbuprofen

Ağrı kesicilerin sentezinde molekülün aktif kısmının doğru uca yerleştirilmesi zorunludur

Discodermolide

Deniz süngerinden elde edilen kanser ilacı, ancak hidroborasyon gibi milimetrik hassasiyetli yöntemlerle laboratuvarda taklit edilebilmektedir

Hassas Mimari

Atomlar başıboş hareket etseydi bu hassas mimari bozulur, ilaçlar etkisiz kalırdı

Dört Merkez, Tek Hamle: Senkronizasyonun Delili

Reaksiyon sırasında gerçekleşen dört merkezli geçiş hali tam bir senkronizasyon harikasıdır.

Eşzamanlı Değişim

Dört farklı atom eski bağlarını **aynı anda** koparır, **aynı anda** yeni bağlar kurar

Syn-Katılma

Reaksiyon her seferinde aynı düzen ile sonuçlanır

Geometrik Plan

Kaotik çarpışmalarla değil; geometrik bir plana göre işleyen bir düzenin göstergesidir

Yüz kişilik bir orkestrada tüm çalgıların aynı anda susup aynı anda yeni bir notaya başlaması bir şefin varlığını nasıl gösteriyorsa, milyarlarca atomun aynı anda aynı kurallara uyarak bağlarını değiştirmesi de bu atomları yöneten bir düzenin varlığına işaret eder.

Özet: Saklı Nizamın Kimyasal Dili

Bu reaksiyonun her adımında birbiriyle bağlantılı bir düzen görülür.

1

Elektronegatiflik Farkı

0.16'lık fark → hidrojenin hidrür karakteri → Anti-Markovnikov ürünü

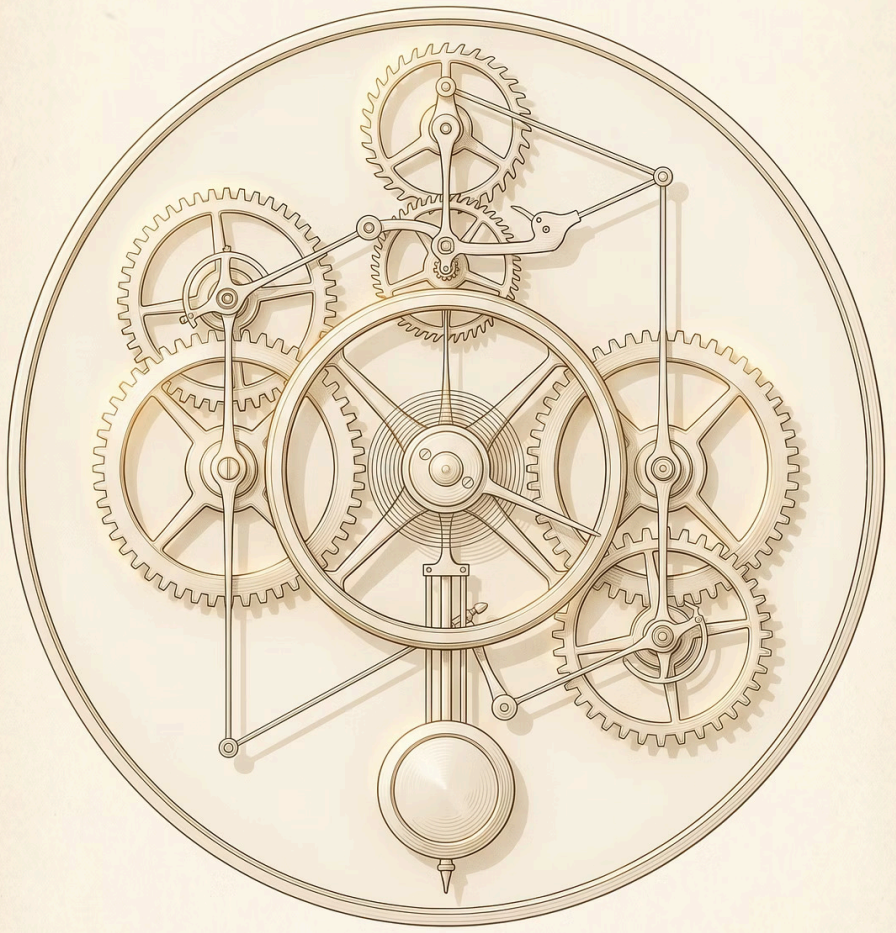
2

Sterik Engel

Borun tenha uca yönlendirilmesi → oksijelin doğru konuma yerleşmesi

3

Syn-Katılma

Stereokimyanın korunması → şifa değeri taşıyan moleküllerin inşası

> Bir deney tüpünde gerçekleşen bu sessiz ve mikroskobik hadise, şuursuz atomların değil; onlara bu özellikleri veren, her adımı planlayan ilim, irade ve kudret sahibi bir Tasarımcı'nın eseridir.